



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **07230015 A**(43) Date of publication of application: **29.08.95**

(51) Int. Cl.

**G02B 6/22**  
**C03B 37/018**  
**G02B 6/00**  
**G02B 6/00**  
**G02B 6/16**

(21) Application number: **06043249**(22) Date of filing: **17.02.94**(71) Applicant: **FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE**

(72) Inventor: **HIRABAYASHI KAZUTO**  
**TAKAHASHI TADASHI**  
**SHIBUTA TAEKO**

(54) **DISPERSION SHIFT TYPE SINGLE-MODE OPTICAL FIBER, AND PREFORM FOR THE SAME AND ITS MANUFACTURE**

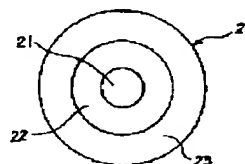
(57) Abstract:

**PURPOSE:** To provide technology for obtaining the dispersion shift type single-mode optical fiber and the preform for the dispersion shift type single-mode optical fiber.

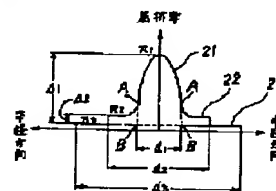
**CONSTITUTION:** The center core 21 and side core 22 of the dispersion shift type single-mode optical fiber 20 consisting of the center core 21 which has a refractive index  $n_1$  and an external diameter  $d_1$ , the side core 22 which has a refractive index  $n_2$  and an external diameter  $d_2$ , and a clad which has a refractive index  $n_3$  and an external diameter  $d_3$  while  $n_1 > n_2 > n_3$  and  $d_3 > d_2 > d_1$  satisfy relation  $d_2/d_1 \geq 3$ . Namely, the relation (external diameter  $d_2$  of side core 22)/(external diameter  $d_1$  of center core 21)  $\geq 3$  is satisfied, and the side core diameter and core effective sectional area showing a mold field diameter are large and cutoff wavelength is large, so dispersion characteristics and bending characteristics are both excellent.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO

(a)



(b)



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-230015

(43) 公開日 平成7年(1995)8月29日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B 6/22				
C 0 3 B 37/018		D		
G 0 2 B 6/00	3 5 6	A		
	3 7 6	A		
6/16	3 2 1			

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平6-43249

(22) 出願日 平成6年(1994)2月17日

(71) 出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72) 発明者 平林 和人

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 高橋 正

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(72) 発明者 渋谷 妙子

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古

河電気工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 齋藤 義雄

(54) 【発明の名称】 分散シフト型シングルモード光ファイバと分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材と分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の製造方法

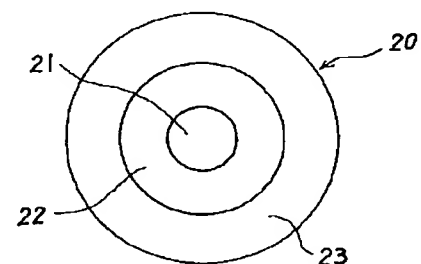
(57) 【要約】

(a)

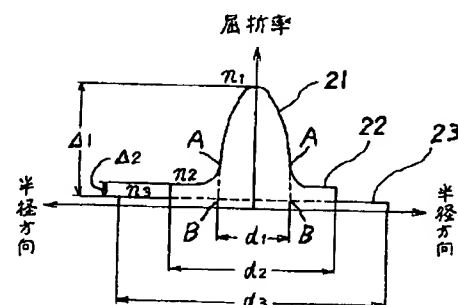
【目的】 良好な分散特性と曲げ特性とを有する分散シフト型シングルモード光ファイバを得るための技術を提供する。

【構成】 屈折率  $n_1$ 、外径  $d_1$  のセンタコア 21 と、屈折率  $n_2$ 、外径  $d_2$  のサイドコア 22 と、屈折率  $n_3$ 、外径  $d_3$  のクラッドとが、 $n_1 > n_2 > n_3$ 、 $d_3 > d_2 > d_1$  なる関係を満足させている分散シフト型シングルモード光ファイバ 20 において、センタコア 21 とサイドコア 22 とが  $d_2 / d_1 \geq 3$  なる関係をも満足させている。

【効果】 (サイドコア 22 の外径  $d_2$ ) / (センタコア 21 の外径  $d_1$ )  $\geq 3$  なる関係を満足させており、モードフィールド径を示すサイドコア径およびコア有効断面積が大きく、カットオフ波長も大きいから、分散特性、曲げ特性が共に良好になる。



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 センタコアと、センタコア外周のサイドコアと、サイドコア外周のクラッドとを備えており、センタコアの屈折率、外径を $n_1$ 、 $d_1$ 、サイドコアの屈折率、外径を $n_2$ 、 $d_2$ 、クラッドの屈折率、外径を $n_3$ 、 $d_3$ とした場合に、センタコア、サイドコア、クラッド相互が、 $n_1 > n_2 > n_3$ 、 $d_3 > d_2 > d_1$ なる関係を満足させている分散シフト型シングルモード光ファイバにおいて、センタコアとサイドコアとが $d_2/d_1 \geq 3$ なる関係をも満足させていることを特徴とする分散シフト型シングルモード光ファイバ。

【請求項2】 モードフィールド径が $7 \sim 10 \mu m$ の範囲内にある請求項1記載の分散シフト型シングルモード光ファイバ。

【請求項3】 クラッドに対するセンタコアの比屈折率差を $\Delta_1$ 、クラッドに対するサイドコアの比屈折率差を $\Delta_2$ とした場合に、これら比屈折率差 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ が $0.8\% < \Delta_1 < 1.0\%$ および $0.05 < (\Delta_2/\Delta_1) < 0.2$ なる関係を満足させている請求項1記載の分散シフト型シングルモード光ファイバ。

【請求項4】 センタコア用ガラス層と、センタコア用ガラス層外周のサイドコア用ガラス層と、サイドコア用ガラス層外周のクラッド用ガラス層とを備えており、センタコア用ガラス層の屈折率、外径を $N_1$ 、 $D_1$ 、サイドコア用ガラス層の屈折率、外径を $N_2$ 、 $D_2$ 、クラッド用ガラス層の屈折率、外径を $N_3$ 、 $D_3$ とした場合に、これら各ガラス層が、 $N_1 > N_2 > N_3$ 、 $D_3 > D_2 > D_1$ なる関係を満足させている分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材において、センタコア用ガラス層とサイドコア用ガラス層とが $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係をも満足させていることを特徴とする分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材。

【請求項5】 センタコア用多孔質ガラス層とサイドコア用多孔質ガラス層とクラッド用多孔質ガラス層とを同心円状に堆積形成するためのガラス微粒子堆積工程と、センタコア用多孔質ガラス層、サイドコア用多孔質ガラス層、クラッド用多孔質ガラス層を透明ガラス化してこれら多孔質ガラス層をセンタコア用ガラス層、サイドコア用ガラス層、クラッド用ガラス層にするための透明ガラス化工程とを含み、センタコア用ガラス層の外径を $D_1$ 、サイドコア用ガラス層の外径を $D_2$ とした場合に、センタコア用ガラス層、サイドコア用ガラス層が $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係を満足するように各ガラス層を仕上げることを特徴とする分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光通信の分野で用いられる二重コア（デュアルコア）構造を備えた分散シフト型シングルモード光ファイバとその母材、および、分散

シフト型シングルモード光ファイバ用母材の製造方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 石英系シングルモード光ファイバにおいて、その損失が波長 $1.55 \mu m$ 帯で最小になることを利用して大容量かつ高速度の通信を行なうときは、周波数（波長）に対して屈折率などの物理定数が変化する現象、すなわち、分散についても $1.55 \mu m$ 帯で最小にするのがよいとされている。これを実現するために、既存の分散シフト型シングルモード光ファイバでは、屈折率の分布形状を変えることにより構造分散の値を調整して、ゼロ分散波長を $1.55 \mu m$ 帯にしている。

【0003】 分散シフト型シングルモード光ファイバの代表例として、二重コア構造をもつものの断面構造と屈折率分布とを図8の（a）（b）に示す。図8（a）

（b）に示された分散シフト型シングルモード光ファイバ10の場合は、屈折率 $n_1$ 、外径 $d_1$ をもつセンタコア11と、屈折率 $n_2$ 、外径 $d_2$ をもつサイドコア12と、屈折率 $n_3$ 、外径 $d_3$ をもつクラッド13とからなり、センタコア11の外周にサイドコア12が設けられ、サイドコア12の外周にクラッド13が設けられたものである。自明のとおり、センタコア11、サイドコア12、クラッド13は、これらの屈折率、外径について、 $n_1 > n_2 > n_3$ 、 $d_3 > d_2 > d_1$ なる関係を満足させている。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】 図8（a）（b）に例示された分散シフト型シングルモード光ファイバ10において、光ファイバ1中を伝搬する光強度（光パワー）が増大するときは、非線型分極による屈折率変化が不可避免的に生じ、これらの屈折率変化が、自己位相変調や相互位相変調を通じて伝送特性の劣化をもたらす。ことに、光ファイバ増幅器の発展にともない、波長 $1.55 \mu m$ 帯での高出力が容易に得られる現状では、非線型分極に起因した屈折率変化が大容量かつ高速度の通信を行なう上でのネックとなる。

【0005】 ちなみに、上述した非線型分極がもたらす位相差は、つぎの一般式であらわすことができる。

$$\Phi = (2\pi n_2 PL) / (\lambda A_{eff})$$

上記式中、 $\Phi$ は位相差、 $n_2$ は非線型屈折率、 $P$ は光パワー、 $L$ は光ファイバの長さ、 $\lambda$ は波長、 $A_{eff}$ はコア有効断面積である。

【0006】 上記の式から理解できるように、非線型分極がもたらす位相差をより小さくするためには、 $A_{eff}$ をより大きくすることが必要である。これは、 $A_{eff}$ がモードフィールド径（MFD）とほぼ比例関係にあるから、MFDを大きくした場合に既述の位相差も小さくなる。

【0007】 しかし、既存の分散シフト型シングルモード光ファイバにおいてMFDを大きくした場合は、すで

に指摘されているように曲げ特性が悪くなり、光ファイバが曲げを受けたときに伝送ロスが増加する。

【0008】したがって、既存の分散シフト型シングルモード光ファイバにおいては、非線型分極に起因した伝送特性の劣化、曲げ特性に起因した伝送ロス増を同時に解決することができない。

【0009】〔発明の目的〕本発明はこのような技術的課題に鑑み、非線型分極がもたらす位相差を小さくすることができ、良好な曲げ特性をも確保することのできる分散シフト型シングルモード光ファイバとその光ファイバ用母材、および、その光ファイバ用母材の製造方法を提供しようとするものである。

#### 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ、所期の目的を達成するために、下記的手段を特徴とする。すなわち、センタコアと、センタコア外周のサイドコアと、サイドコア外周のクラッドとを備えており、センタコアの屈折率、外径を $n_1$ 、 $d_1$ 、サイドコアの屈折率、外径を $n_2$ 、 $d_2$ 、クラッドの屈折率、外径を $n_3$ 、 $d_3$ とした場合に、センタコア、サイドコア、クラッド相互が、 $n_1 > n_2 > n_3$ 、 $d_3 > d_2 > d_1$ なる関係を満足させている分散シフト型シングルモード光ファイバにおいて、センタコアとサイドコアとが $d_2/d_1 \geq 3$ なる関係をも満足させていることを特徴とする。上記分散シフト型シングルモード光ファイバのモードフィールド径は $7 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲内に設定される。上記分散シフト型シングルモード光ファイバにおいて、クラッドに対するセンタコアの比屈折率差を $\Delta_1$ 、クラッドに対するサイドコアの比屈折率差を $\Delta_2$ とした場合に、これら比屈折率差 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ は、 $0.8\% < \Delta_1 < 1.0\%$ 、および、 $0.05 < (\Delta_2/\Delta_1) < 0.2$ なる関係を満足させている。

【0011】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材は、所期の目的を達成するために、下記的手段を特徴とする。すなわち、センタコア用ガラス層と、センタコア用ガラス層の外周のサイドコア用ガラス層と、サイドコア用ガラス層外周のクラッド用ガラス層とを備えており、センタコア用ガラス層の屈折率、外径を $N_1$ 、 $D_1$ 、サイドコア用ガラス層の屈折率、外径を $N_2$ 、 $D_2$ 、クラッド用ガラス層の屈折率、外径を $N_3$ 、 $D_3$ とした場合に、これら各ガラス層が、 $N_1 > N_2 > N_3$ 、 $D_3 > D_2 > D_1$ なる関係を満足させている分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材において、センタコア用ガラス層とサイドコア用ガラス層とが $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係をも満足させていることを特徴とする。

【0012】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の製造方法は、所期の目的を達成するために、下記的手段を特徴とする。すなわち、センタコア用多孔質ガラス層とサイドコア用多孔質ガラス層とク

ラッド用多孔質ガラス層とを同心円状に堆積形成するためのガラス微粒子堆積工程と、センタコア用多孔質ガラス層、サイドコア用多孔質ガラス層、クラッド用多孔質ガラス層を透明ガラス化してこれら多孔質ガラス層をセンタコア用ガラス層、サイドコア用ガラス層、クラッド用ガラス層にするための透明ガラス化工程とを含み、センタコア用ガラス層の外径を $D_1$ 、サイドコア用ガラス層の外径を $D_2$ とした場合に、センタコア用ガラス層、サイドコア用ガラス層が $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係を満足するように各ガラス層を仕上げることを特徴とする。

#### 【0013】

【作用】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバは、センタコアとサイドコアとが $d_2/d_1 \geq 3$ なる関係を満足させている。このような関係を満足させているシングルモード光ファイバは、モードフィールド径(MFD)が大きく、これに比例して $A_{eff}$  (コア有効断面積)も大きい。したがって、大きな $A_{eff}$ に依存して非線型分極がもたらす位相差を低レベルに保持することができ、自己位相変調や相互位相変調に起因した伝送特性の劣化が起こりがたい。さらに、上記の関係を満足させているシングルモード光ファイバは、カットオフ波長も大きいから、曲げ特性が悪くなることがない。

【0014】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材は、センタコア用ガラス層とサイドコア用ガラス層とが $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係を満足させているから、これを常套手段(加熱延伸手段)で線引きすることにより、上述した有用かつ有益な分散シフト型シングルモード光ファイバが得られる。

【0015】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の製造方法は、ガラス微粒子堆積工程、透明ガラス化工程を主体にして所定の光ファイバ用母材を作製するときに、センタコア用ガラス層、サイドコア用ガラス層が $D_2/D_1 \geq 3$ なる関係を満足するように各ガラス層を仕上げるから、既存の設備をそのまま利用して、上述した分散シフト型シングルモード光ファイバを得るための母材を簡易につくることができる。

#### 【0016】

【実施例】はじめに、本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバの実施例について、図1を参照して説明する。図1(a)(b)において、20は石英系からなる分散シフト型シングルモード光ファイバ、21は光ファイバ20のセンタコア、22は光ファイバ20のサイドコア、23は光ファイバ20のクラッドをそれぞれ示す。図1(a)(b)において、 $n_1$ はセンタコア21の屈折率、 $n_2$ はサイドコア22の屈折率、 $n_3$ はクラッド23の屈折率をそれぞれ示し、 $d_1$ はセンタコア21の外径、 $d_2$ はサイドコア22の外径、 $d_3$ はクラッド23の外径をそれぞれ示す。

【0017】図1の(a)(b)を参照して明らかなように、センタコア21、サイドコア22、クラッド23

の相対関係では、これらの屈折率および外径が、 $n_1 > n_2 > n_3$ 、 $d_3 > d_2 > d_1$  のようになっており、かつ、センタコア21とサイドコア22については、 $d_2/d_1 \geq 3$  なる関係をも満足させている。 $d_2/d_1$  の上限については、光ファイバ20の仕様などを考慮して適切に設定され、たとえば、 $d_2/d_1 \leq 5$  のように設定される。ここで、図1(b)の $d_1$ は、センタコア21の屈折率分布形状における変曲点A、Aからの延長線と、クラッド23の屈折率レベルを示す水平線の交点とをB、Bとしたときに、B-B間の長さとする。通常、 $d_1$ は5~20 $\mu\text{m}\phi$ の範囲内に設定され、 $d_2$ は15~100 $\mu\text{m}\phi$ の範囲内に設定され、 $d_3$ は100~200 $\mu\text{m}\phi$ の範囲内に設定される。その具体的一例として、 $d_1 = 5\mu\text{m}\phi$ 、 $d_2 = 15\mu\text{m}\phi$ 、 $d_3 = 125\mu\text{m}\phi$ に設定される。この場合における光ファイバ20のモードフィールド径(MFD)は、8.0 $\mu\text{m}\phi$ である。センタコア21、サイドコア22、クラッド23の各屈折率に関しては、前述した $n_1 > n_2 > n_3$ において、クラッド23に対するセンタコア21の比屈折率差 $\Delta_1$ が $0.8\% < \Delta_1 < 1.0\%$ を満足するように、かつ、クラッド23に対するサイドコア22の比屈折率差 $\Delta_2$ が $0.05 < (\Delta_2/\Delta_1) < 0.2$ を満足するように設定される。

【0018】上述した条件を満足させている光ファイバ20のセンタコア21、サイドコア22、クラッド23は、高純度の石英( $\text{SiO}_2$ )を主成分とし、これらの一部または全部に、屈折率高上用のドーパント、屈折率低下用のドーパントが添加されたものからなる。屈折率高上用ドーパントとして、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{SnO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ などをあげることができ、屈折率低下用ドーパントとして、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、Fなどをあげることができる。その他、ガラス( $\text{SiO}_2$ )の軟化点、熱膨張係数、化学的耐久性、転移点、散乱損失増を改善するために、上記各ドーパントや $\text{P}_2\text{O}_5$ のうちからそのような効果のあるものが $\text{SiO}_2$ に添加され、および/または、それ以外のドーパント(公知ないし周知のもの)が $\text{SiO}_2$ に添加される。光ファイバ20の各組成に関するより具体的な一例として、センタコア21が $\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$ からなり、サイドコア22が $\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$ からなり、クラッド23が $\text{SiO}_2$ からなるものをあげることができる。この場合におけるセンタコア21、サイドコア22の相対関係では、センタコア21の $\text{GeO}_2$ 含有量が、サイドコア22の $\text{GeO}_2$ 含有量を上回る。

【0019】図示されていないが、光ファイバ20の外周には、熱硬化性樹脂被膜、光(紫外線)硬化性樹脂被膜、熱可塑性樹脂被膜、金属被膜、ハメチック被膜などのうちから選択される一層以上の被覆層が形成される。その一例として、光ファイバ20がプラスチック系

の被膜により二次被覆されるときは、一次被膜としてシリコン樹脂(ゴム)被膜またはUV樹脂被膜が採用され、二次被膜としてポリイミド樹脂被膜またはポリエチレン樹脂被膜が採用される。他の一例として、光ファイバ20が非プラスチック系被膜とプラスチック系被膜とで二次被覆されるときは、一次被膜として金属被膜(スパッタ被膜、蒸着被膜、イオンプレーティング被膜など)が採用され、二次被膜としてポリイミド樹脂被膜またはポリエチレン樹脂被膜が採用される。別の一例として、光ファイバ20が非プラスチック系被膜とプラスチック系被膜とで二次被覆されるときは、一次被膜としてハメチック被膜(炭素系ハメチック被膜、金属系ハメチック被膜など)が採用され、二次被膜としてポリイミド樹脂被膜またはポリエチレン樹脂被膜が採用される。

【0020】分散シフト型シングルモード光ファイバ20は、伝送損失を最も小さくすることのできる波長1.55 $\mu\text{m}$ 帯付近にゼロ分散波長をもつ点で、図2~図4を参照して述べる下記の優位性がみられる。図2は、 $\Delta_1 = 0.861$ 、 $\Delta_2/\Delta_1 = 0.08$ の光ファイバ20における $d_2/d_1$ 、MFD、カットオフ波長 $\lambda_c$ の関係を示し、図3は、当該光ファイバ20における $d_2/d_1$ と曲げによるロスとの関係を示し、さらに、図4は、当該光ファイバ20における $d_2/d_1$ とゼロ分散波長との関係を示している。なお、図3における曲げロスは、長さ=1m、MFD=8 $\mu\text{m}\phi$ の光ファイバ20を外径20mm $\phi$ のマンドレルに巻つけて測定したものである。MFD=8 $\mu\text{m}\phi$ におけるカットオフ波長 $\lambda_c$ は、図2を参照して明らかなように、 $d_2/d_1$ が大きくなるにしたがい大きくなる。曲げによるロスは、図3を参照して明らかなように、 $d_2/d_1 = 3$ となるあたりからほぼ一定になる。一般に、曲げによる光ファイバ20のロスに関しては、MFDを $\lambda_c$ で除した値Q、すなわち、 $\text{MFD}/\lambda_c = Q$ により一義的に決まることが知られており、これはQ値が小さいほど曲げロスが小さいことを意味する。このように、 $d_2/d_1$ が大きくなるにつれて $\lambda_c$ が増大するのであれば、MFDを小さくすることなしにQ値を小さくできる。逆説的には、比較的良好な曲げ特性を保持したままMFDを大きくできることとなる。前述した図3においても、光ファイバ20の曲げロスは、比較的良好なほぼ一定の値を示している。さらに、光ファイバ20のMFD=8 $\mu\text{m}\phi$ を示すゼロ分散波長は、図4を参照して明らかなように、 $d_2/d_1 \geq 2.5$ を満足させたときに、波長1550nm付近で安定している。

【0021】図2~図4に示した各測定データは、MFD=8 $\mu\text{m}\phi$ 、 $\Delta_1 = 0.861$ 、 $\Delta_2/\Delta_1 = 0.08$ など、汎用領域のものについて代表的にプロットしたものであるが、MFDが8 $\mu\text{m}\phi$ の付近にあり、 $0.8 < \Delta_1 < 1.0$ 、 $0.05 < (\Delta_2/\Delta_1) < 0.2$ を

7

満足させる光ファイバであれば、これらも図2～図4に示したと同様の傾向を示す。

【0022】つぎに、本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバの具体例とその比較例（従来品）について評価した結果を表1、表2に示す。具体例1～5 \*

表 1	$\Delta_1$ %	$\Delta_2$ %	$d_2/d_1$	MDF $\mu m \phi$	曲げ特性 dB/m	ゼロ分散波長 nm
具体例 1	0.882	0.148	3.451	8.0	0.51	1564.3
具体例 2	0.891	0.151	3.512	8.0	0.12	1580.6
具体例 3	0.874	0.139	3.412	8.0	0.88	1558.6
具体例 4	0.880	0.142	3.591	8.0	0.06	1575.4
具体例 5	0.887	0.144	3.443	8.0	0.41	1578.2

表 2	$\Delta_1$ %	$\Delta_2$ %	$d_2/d_1$	MDF $\mu m \phi$	曲げ特性 dB/m	ゼロ分散波長 nm
比較例 1	0.875	0.137	2.878	8.0	7.62	1588.2
比較例 2	0.882	0.141	2.914	8.0	4.38	1596.1
比較例 3	0.891	0.144	2.942	8.0	3.35	1602.2
比較例 4	0.886	0.138	2.933	8.0	5.12	1591.4
比較例 5	0.871	0.133	2.861	8.0	10.15	1579.3

表1、表2中の曲げ特性は、長さ1mの光ファイバを外径20mmφのマンドレルに巻つけて測定したときのロス（伝送損失増加量）を示す。

【0024】具体例1～5の分散シフト型シングルモード光ファイバは、表1を参照して明らかなように、MFD=8μmφにおいて良好な曲げ特性を示している。したがって、これらの結果から、本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ20の有効性が窺える。それに対し、比較例1～5の分散シフト型シングルモード光ファイバは、表2を参照して明らかなように、MFD=8μmφにおける曲げ特性が悪く、実用性が殆どみられない。

【0025】つぎに、本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の実施例について、図5を参照して説明する。図5（a）（b）において、30は分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材（光ファイバ20と同一の石英系）、31は光ファイバ用母材30のセンタコア用ガラス層、32は光ファイバ用母材30のサイドコア用ガラス層、33は光ファイバ用母材30

8

\*の各光ファイバは、後述する製造方法から得られる同一仕様の各光ファイバ用母材（5本）を同一条件で線引して得たものであり、比較例1～5の各光ファイバも、一部の仕様の除き各具体例に準じて作製したものである。

【0023】

※のクラッド用ガラス層をそれぞれ示す。さらに、図5（a）（b）において、 $N_1$ はセンタコア用ガラス層31の屈折率、 $N_2$ はサイドコア用ガラス層32の屈折率、 $N_3$ はクラッド33の屈折率をそれぞれ示し、 $D_1$ はセンタコア用ガラス層31の外径、 $D_2$ はサイドコア用ガラス層32の外径、 $D_3$ はクラッド用ガラス層33の外径をそれぞれ示す。

【0026】図5（a）（b）を参照して明らかなように、センタコア用ガラス層31、サイドコア用ガラス層32、クラッド用ガラス層33の相対関係では、これらの屈折率および外径が、 $N_1 > N_2 > N_3$ 、 $D_3 > D_2 > D_1$ のようになっているほか、センタコア用ガラス層31とサイドコア用ガラス層32については、既述の光ファイバ20を得るために、 $5 \geq (D_2/D_1) \geq 3$ なる関係をも満足させている。ここで、図5（b）に示すA、Bは、図1（b）におけるA、Bと同じ意味をもっている。センタコア用ガラス層31、サイドコア用ガラス層32、クラッド用ガラス層33の各屈折率に関しても、既述の光ファイバ20を得るために、 $N_1 > N_2 >$

N<sub>2</sub>において、クラッド用ガラス層33に対するセンタコア用ガラス層31の比屈折率差 $\Delta_1$ が $0.8 < \Delta_1 < 1.0$ を、クラッド用ガラス層33に対するサイドコア用ガラス層32の比屈折率差 $\Delta_2$ が $0.05 < (\Delta_2 / \Delta_1) < 0.2$ をそれぞれ満足するように設定される。ちなみに、前記表1の光ファイバを得るための光ファイバ用母材30は、MFDが $7.95 \sim 8.05 \mu m \phi$ となるように、N<sub>1</sub>～N<sub>3</sub>、D<sub>1</sub>～D<sub>3</sub>、 $\Delta_1$ 、 $\Delta_2$ などに関する仕様が定められている。図5(a)(b)の光ファイバ用母材30は、これを周知の線引炉(電気加熱炉)にかけて線引きすることにより、図1(a)(b)で述べた光ファイバ20になる。

【0027】つぎに、上述した分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材30を製造するための方法について、図6、図7を参照して説明する。図6において、51は高純度石英からなる反応容器、52は反応容器51の排気管、53は純粋石英からなる棒状のターゲット、54はターゲット53用の回転式昇降機構、55は光ビーム照射器56と受光器57と制御器58とを含む回転式昇降機構54用の制御機構、59、60、61は多重管構造からなるガラス微粒子合成用のバーナ(=トーチ)、62、63、64はマスフローコントローラ65、66、67を備えたガラス原料供給系をそれぞれ示す。周知のとおり、回転式昇降機構54は、当該機構54を介して垂直に保持したターゲット53を回転させながら反応容器51内外に昇降させるためのものであり、これは反応容器51の上部開口側に配置されている。制御機構55の光ビーム照射器56、受光器57は互いに対をなしており、反応容器51の両側部において、光ビーム照射器56が反応容器51の側壁に装着されているとともに、受光器57が反応容器51外に保持されている。この場合において、光ビーム照射器56と受光器57とを結ぶ線分が、これら両器による検知ライン、すなわち、後述する光ファイバ用多孔質ガラス母材の引き上げ速度をコントロールするための基準線となる。制御機構55において、光電変換器、電氣的／電子的な演算処理部などを含む制御器58は、受光器57と回転式昇降機構54とにわたって接続されている。多重管構造のバーナ59、60、61は、主原料ガス(SiCl<sub>4</sub>)および副原料ガス(GeCl<sub>4</sub>)のごときドープ原料ガスの供給を受ける流路、燃料ガス(H<sub>2</sub>)用の流路、助燃ガス(O<sub>2</sub>)用の流路、緩衝ガス(Ar)用の流路などが同心円状に並んだ周知のものであり、これらのガラス原料供給系62、63、64には、前記マスフローコントローラ65、66、67のほか、液化原料タンク、キャリアガス供給タンク、原料ガスを発生させるためのバブリング槽などが備えられている。上述した各バーナ59、60、61は、反応容器51の下部から一側部にわたる壁面を貫通してここに取りつけられているとともに、該各バーナ59、60、61の先端が、回転式

昇降機構54を介して前記基準線L付近まで下降したターゲット53の下端に向けられている。

【0028】図7において、70は透明ガラス化用の加熱炉、71は加熱炉70の炉心管、74は加熱炉70のリング状をなす電気ヒータをそれぞれ示す。炉心管71は純粋石英からなり、これの下部に雰囲気ガスの導入口72、これの上部に排気口73を有する。電気ヒータ74は、炉心管71の外周に嵌めこまれて炉心管71の上下方向中間部に保持されている。炉心管71の上面側には、図示されていないが、回転式昇降機構54と同様の機構が配置される。その他、図7に例示された光ファイバ用多孔質ガラス母材の透明ガラス化手段も、図示しないケーシングで覆われている。

【0029】図6の手段(VAD法)を用いて分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材30の前駆体となる多孔質ガラス母材40をつくるとき、すなわち、センタコア用多孔質ガラス層41、サイドコア用多孔質ガラス層42、クラッド用多孔質ガラス層43を有する多孔質ガラス母材40をつくるときは、以下に例示するようになる。

【0030】ターゲット53は、回転式昇降機構54を介して反応容器50の内部へ降下され、その下端が基準線L付近に達した状態で一定方向へ回転している。各バーナ59、60、61のうち、センタコア用バーナ59およびサイドコア用バーナ60の各流路には、SiCl<sub>4</sub>、GeCl<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、Arが供給され、クラッド用バーナ61の各流路には、SiCl<sub>4</sub>、H<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、Arが供給され、これらバーナ59、60、61が燃焼状態に保持される。

【0031】こうして燃焼状態に保持された各バーナ59、60、61は、周知の火炎加水分解反応を起こしてスート状のガラス微粒子をそれぞれ生成し、これらガラス微粒子を各バーナ先端からターゲット53の下端に向けて噴射かつ堆積させる。より具体的には、バーナ59から噴射されるSiO<sub>2</sub>微粒子、GeO<sub>2</sub>微粒子がターゲット53の下端中心部に堆積され、同じく、バーナ60から噴射されるSiO<sub>2</sub>微粒子、GeO<sub>2</sub>微粒子がその外周に堆積され、同じく、バーナ61から噴射されるSiO<sub>2</sub>微粒子がその外周に堆積される。かくて、ターゲット53の下端には、同心円状に一体化されたセンタコア用多孔質ガラス層41、サイドコア用多孔質ガラス層42、クラッド用多孔質ガラス層43をもつ多孔質ガラス母材40がつけられる。

【0032】多孔質ガラス母材40がこれの軸線方向沿いに成長するにしたがい、ターゲット53が回転式昇降機構54を介して引き上げられるが、これに際しては、ターゲット53の引上速度を母材成長速度とマッチングさせるべく、回転式昇降機構54が制御機構55を介してつぎのように制御される。

【0033】制御機構55は、反応容器51内において

多孔質ガラス母材40を作製しているときに、光ビーム照射器56から受光器57に向けて基準線Lに一致するレーザビームを定常的に照射している。上記において、ターゲット53の下端に堆積形成される多孔質ガラス母材40が基準線Lまで成長していないとき、すなわち、光ビーム照射器56からのレーザビームがそのまま受光器57に到達するときは、回転式昇降機構54が昇降系統が駆動しないために、ターゲット53の引き上げが行なわれない。上記において、多孔質ガラス母材40が基準線Lを越える成長状態になり、その母材下端がレーザビームが遮るとき、すなわち、レーザビームが受光器57まで到達しないときは、受光器57→制御器58→回転式昇降機構54のように送られる出力信号を受けて回転式昇降機構54の昇降系統が駆動するために、ターゲット53が引き上げられる。さらに、ターゲット53が所定量引き上げられて、光ビーム照射器56からのレーザビームが再度受光器57に到達すると、回転式昇降機構54が昇降系統が停止する。以下、光ビーム照射器56から受光器57にわたるレーザビームの断続により回転式昇降機構54の昇降系統が適時駆動するので、多孔質ガラス母材40の作製が完了するまでの間、ターゲット53はその母材の成長速度に応じて引き上げられる。

【0034】図7の加熱炉70を用いて多孔質ガラス母材40を透明ガラス化するとき、当該母材40を以下に例示するように熱処理する。先行する熱処理においては、多孔質ガラス母材40のセンタコア用多孔質ガラス層41、サイドコア用多孔質ガラス層42、クラッド用多孔質ガラス層43を精製（不純物の除去と脱水）するために、約1200℃のCl<sub>2</sub>、He雰囲気中に保持された炉心管71内に多孔質ガラス母材40を入れ、これを電気ヒータ74で高温に加熱する。後続する熱処理においては、多孔質ガラス母材40の各多孔質ガラス層41、43、43を透明ガラス化するために、炉心管71内を約1600℃のHe雰囲気中に保持し、電気ヒータ74を介して多孔質ガラス母材40を前記よりも高温に加熱する。かくて、多孔質ガラス母材40の各多孔質ガラス層41、43、43が透明ガラス化されると、前記図5(a)(b)を参照して述べたセンタコア用ガラス層31、サイドコア用ガラス層32、クラッド用ガラス層33をもつ光ファイバ用母材30が得られる。

【0035】こうして光ファイバ用母材30をつくるときは、既述の各条件を満足するように各ガラス層31、32、33を仕上げる。したがって、図6、図7の手段を介して作製された光ファイバ用母材30を周知の線引炉にかけて線引きしたときに、前記図1(a)(b)で述べた光ファイバ20が得られる。この際の線引工程と同期して、線引直後の光ファイバ20の外周に既述の一次被膜、二次被膜などが形成されるので、光ファイバ20は、いわゆる、光ファイバ心線になる。

【0036】本発明において分散シフト型シングルモード

ド光ファイバ用母材30を製造するとき、つぎのような実施例も採用することができる。その一つは、はじめに、図6の手段(VAD法)を用いてセンタコア用多孔質ガラス層41のみを形成し、かつ、これを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してセンタコア用ガラス層31をつくり、つぎに、公知ないし周知のOVD法を介してセンタコア用ガラス層31の外周にサイドコア用多孔質ガラス層42を形成し、かつ、これを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してサイドコア用ガラス層32をつくり、その後も同じく、OVD法を介してサイドコア用ガラス層32の外周にクラッド用多孔質ガラス層42形成するとともに、これを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してクラッド用ガラス層33をつくる。他の一つは、はじめに、図6の手段(VAD法)を用いてセンタコア用多孔質ガラス層41とサイドコア用多孔質ガラス層42とを形成し、かつ、これらを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してセンタコア用ガラス層31、サイドコア用ガラス層32をつくり、その後、前記と同様に、OVD法を介してサイドコア用ガラス層32の外周にクラッド用多孔質ガラス層42形成するとともに、これを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してクラッド用ガラス層33をつくる。さらに、他の一つは、はじめに、図6の手段(VAD法)を用いてセンタコア用多孔質ガラス層41とサイドコア用多孔質ガラス層42と一部のクラッド用多孔質ガラス層とを形成し、かつ、これらを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してセンタコア用ガラス層31、サイドコア用ガラス層32、一部のクラッド用ガラス層33をつくり、その後、前記と同様に、OVD法を介して一部のクラッド用ガラス層外周に残部のクラッド用多孔質ガラス層を形成するとともに、これを図7の透明ガラス化手段で精製ならびにガラス化してクラッド用ガラス層33をつくる。こうして光ファイバ用母材30をつくる時も、既述の各条件を満足するように各ガラス層31、32、33を仕上げる。

#### 【0037】

【発明の効果】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバは、センタコア外径/サイドコア外径 $\geq 3$ なる関係を満足させており、モードフィールド径を示すサイドコア径およびコア有効断面積が大きく、かつ、カットオフ波長も大きいから、分散特性、曲げ特性が共に良好になる。

【0038】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材は、センタコア用ガラス層外径/サイドコア用ガラス層外径 $\geq 3$ なる関係を満足させているから、これを常套手段（加熱延伸手段）で線引きすることにより、上述した有用かつ有益な分散シフト型シングルモード光ファイバが得られる。

【0039】本発明に係る分散シフト型シングルモード



光ファイバ用母材の製造方法は、ガラス微粒子堆積工程、透明ガラス化工程を主体にして所定の光ファイバ用母材を作製するときに、センタコア用ガラス層／サイドコア用ガラス層 $\geq 3$ なる関係を満足するように各ガラス層を仕上げるから、既存の設備を利用して、上述した分散シフト型シングルモード光ファイバを得るための母材を簡易につくることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバの一実施例を略示した断面図と屈折率分布図である。

【図2】分散シフト型シングルモード光ファイバにおける $d_2/d_1$ 、MFD、 $\lambda_c$ の関係を示した説明図である。

【図3】分散シフト型シングルモード光ファイバにおける $d_2/d_1$ と曲げによるロスとの関係を示した説明図である。

【図4】分散シフト型シングルモード光ファイバにおける $d_2/d_1$ とゼロ分散波長との関係を示した説明図である。

【図5】本発明に係る分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材の一実施例を略示した断面図と屈折率分布図である。

【図6】本発明方法における光ファイバ用多孔質ガラス母材の作製手段についてその一例を略示した断面図である。

【図7】本発明方法における光ファイバ用多孔質ガラス \*

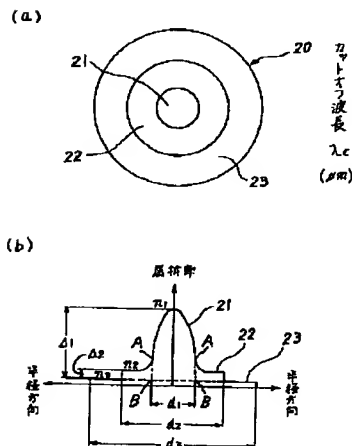
\* 母材の透明ガラス化手段についてその一例を略示した断面図である。

【図8】従来の分散シフト型シングルモード光ファイバに関する断面図と屈折率分布図である。

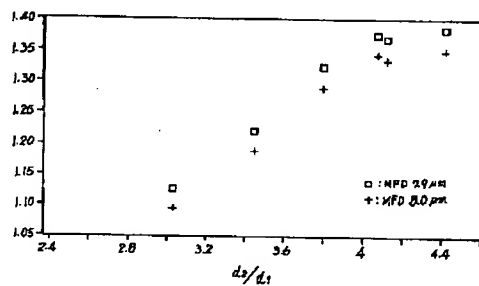
#### 【符号の説明】

- 20 分散シフト型シングルモード光ファイバ
- 21 センタコア (屈折率 $n_1$ 、外径 $n_1$ )
- 22 サイドコア (屈折率 $n_2$ 、外径 $n_2$ )
- 23 クラッド (屈折率 $n_3$ 、外径 $n_3$ )
- 30 分散シフト型シングルモード光ファイバ用母材
- 31 センタコア用ガラス層 (屈折率 $N_1$ 、外径 $D_1$ )
- 32 サイドコア用ガラス層 (屈折率 $N_2$ 、外径 $D_2$ )
- 33 クラッド用ガラス層 (屈折率 $N_3$ 、外径 $D_3$ )
- 40 光ファイバ用多孔質ガラス母材
- 41 センタコア用多孔質ガラス層
- 42 サイドコア用多孔質ガラス層
- 43 クラッド用多孔質ガラス層
- 51 反応容器
- 53 ターゲット
- 54 回転式昇降機構
- 59 ガラス微粒子合成用バーナ
- 60 ガラス微粒子合成用バーナ
- 61 ガラス微粒子合成用バーナ
- 70 透明ガラス化用の加熱炉
- 71 炉心管
- 74 電気ヒータ

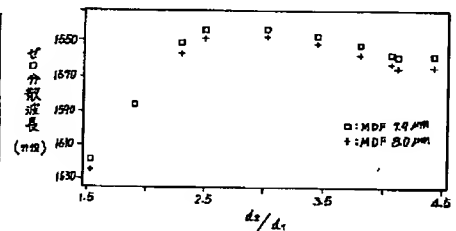
【図1】



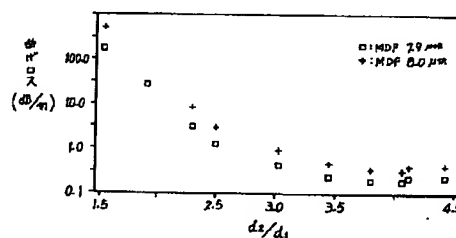
【図2】



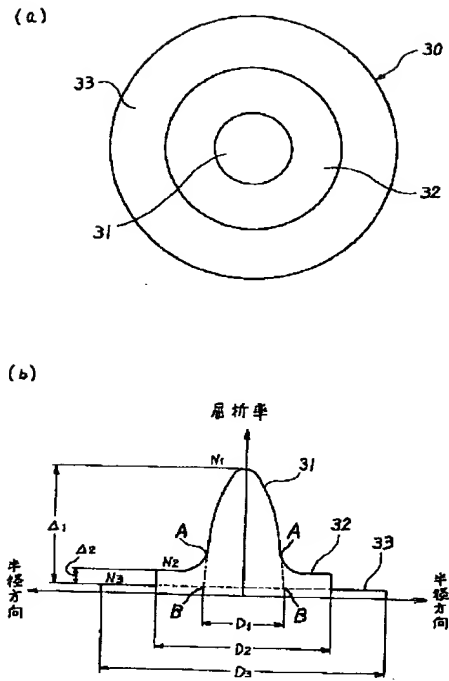
【図4】



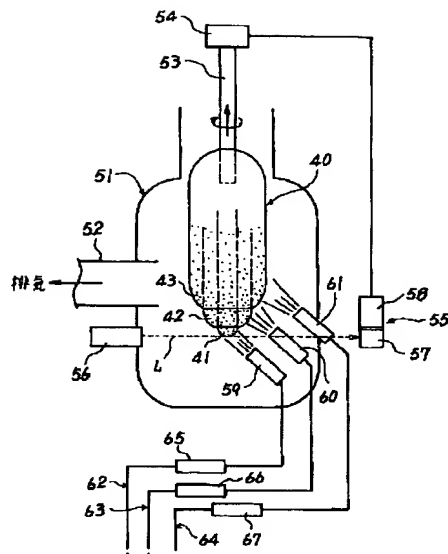
【図3】



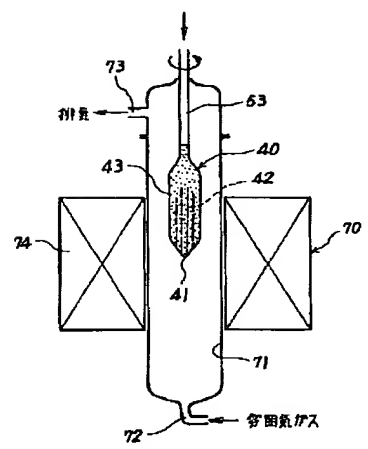
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

